

Санкт-Петербургский государственный университет

Кафедра астрономии

Д.А. Трофимов

Определение координат пунктов из ГНСС-наблюдений
методом PPP

2019

Рецензенты: кандидат физ.-мат. наук, В.Л. Горшков

(ГАО РАН)

кандидат физ.-мат. наук, доцент С.Д. Петров

(СПбГУ)

Печатается по постановлению

*Учебно-методической комиссии по укрупненной группе направлений
и специальностей 03.00.00 "Физика и астрономия".*

Трофимов Д.А.

Определение координат пунктов из ГНСС-наблюдений
методом PPP: Учебное пособие – СПб, 2019. – 73 с.

Пособие предназначено для первичного ознакомления студентов-астрономов с высокоточными методами определения координат из ГНСС-наблюдений. Кратко изложены принципы высокоточных координатных измерений. Рассмотрена работа как с онлайн сервисами определения координат, так и с открытым ПО RTKlib.

Пособие рассчитано на студентов-астрономов математико-механического факультета СПбГУ. .

© Д.А. Трофимов, 2019

© С.-Петербургский гос. университет, 2019

Содержание

Введение	4
Сущность метода PPP	6
Использование онлайн-сервисов PPP	11
Программный пакет RTKLib	16
Получение точных координат помощью RTKLib	19
Приложение 1. Отчет онлайн-сервиса PPP Канадской геодезической службы	27

Введение

В конце XX века в эксплуатацию были запущены две глобальные навигационные спутниковые системы, GPS (Global Positioning System, США) и ГЛОНАСС (ГЛОбальная Навигационная Спутниковая Система). Данные системы разрабатывались прежде всего для военного применения, однако уже через несколько лет после открытия доступа к этим системам, прежде всего GPS, количество гражданских пользователей многократно превысило количество военных пользователей. Итоговая точность определения координат многократно превысила проектировавшиеся значения и, в лучших случаях достигла величин нескольких мм, что существенно выше классических астрооптических методов определения координат. Сравнимую точность определения координат может дать только РСДБ, однако стоимость оборудования для создания наблюдательного пункта РСДБ многократно превышает стоимость оборудования для создания ГНСС-станции.

Начиная с 2004 года, когда в распоряжении кафедры астрономии появился первый двусистемный (с возможностью наблюдений GPS и ГЛОНАСС) ГНСС-приемник, работы, связанные с использованием ГНСС, стали неотъемлемой частью учебного процесса, осуществляемого на кафедре астрономии, а также и научных исследований, которые проводятся сотрудниками кафедры как самостоятельно, так и в сотрудничестве с другими научными организациями. Вместе с тем, приходится отметить, что, кроме учебного пособия «Небесные и земные координаты» изданного в 2011 году, других учебных пособий по работе с ГНСС-наблюдениями на

кафедре издано не было. В указанном пособии изложены только самые основные принципы получения координат наблюдательного пункта из ГНСС-наблюдений. Это сделано специально, чтобы все основные этапы решения навигационной задачи приемником было возможно воспроизвести обучающемуся вручную. Такой подход, с нашей точки зрения, более чем оправдан при первоначальном знакомстве с ГНСС. Однако предложенный алгоритм, использующий только кодовые измерения и только бортовую эфемеридно-временную информацию (далее в тексте ЭВИ) не позволяет получать высокоточные координаты. Сравнение координат, полученных студентами при выполнении практических ГНСС-работ с известными высокоточными координатами показывает, что отличие между ними достигает десяти метро и более. Это очень хороший показатель, планируемая точность единичных определений координат, которая закладывалась при создании имеющихся ГНСС, составляла около 150 метров в плане. Вместе с тем, данная точность совершенно недостаточна при решении почти всех научных задач, при которых используются ГНСС-наблюдения. Высокоточные координаты, со среднеквадратической ошибкой менее 1 см (скорее около 2-3 мм) таким образом получить нельзя, такие точности достигаются только при использовании специального ПО, и, что не менее важно, уточненной ЭВИ, которая может предоставляться как организациями, управляющими ГНСС, так и научными центрами, которые занимаются обработкой ГНСС-наблюдений. Данное учебно-методическое пособие должно познакомить обучающихся с одной из таких специализированных программ, а именно RTKlib.

Сущность метода PPP

В имеющемся пособии от 2011 года уже достаточно изложена информация о ГНСС, геодинамической станции СПбГУ и базовых принципах определения координат приемника. Однако эти принципы позволяют определить координаты с точностью до метров (или десятков метров) поэтому необходимо рассмотреть способы высокоточных определений координат. В настоящее время наиболее распространенными являются дифференциальный режим и PPP.

Дифференциальный режим или относительный режим определения координат из ГНСС наблюдений состоит в совместной обработке измерений на нескольких (не менее 2) пунктах, из которых 1 или более выбираются базовыми, то есть координаты этих пунктов надежно определены с высокой точностью. Отличие мгновенного решения, полученного из наблюдений на базовом пункте от известных его точных координат, можно представить как дифференциальную поправку, которую можно прибавить к мгновенному решению для определяемого пункта. Мы считаем, что ошибки определения координат будут для двух пунктов одинаковыми. Однако у этого метода есть свои ограничения. Во первых, расстояние между базовым пунктом и определяемым пунктом не должны быть велики, не более нескольких десятков (40-50) км, так как в значительной степени эти ошибки определения координат зависят от локального состояния атмосферы и ионосферы. Погрешность определения координат зависит от расстояния до базы, если расстояние до базы то и погрешность минимальна, чем больше расстояние, тем выше погрешность, зависимость имеет линейный характер. Самое главное

ограничение, трудность этого метода — должна существовать база с известными точными координатами и наблюдениями на ней, синхронными по времени с наблюдениями на нашем пункте. Этих проблем, связанных с необходимостью базовых наблюдений, лишен метод PPP.

PPP является аббревиатурой от Precise Point Positioning, что можно дословно перевести как точное определение координат пункта, в русскоязычной литературе используется либо английская аббревиатура, либо такие термины как абсолютный режим, точное абсолютное решение или метод высокоточных координатных определений.

Причины больших погрешностей в определении координат кроются в: неточности ЭВИ; плохом учете факторов влияющих на распространение сигнала, таких как ионосферная рефракция, тропосферная рефракция, с учетом сухой и влажной составляющих. В случае относительного режима все эти факторы вносятся в дифференциальную поправку. Для PPP, в котором базовая станция с известными координатами отсутствует, необходимо использование более точной ЭВИ и точных моделей факторов, влияющих на распространение сигнала.

Необходимо отметить, что для высокоточных определений координат методом PPP приемник должен иметь возможность проводить наблюдения на двух частотах любой из систем, сигналы которых он принимает, и проводить фазовые измерения. Характерная величина радиоволн, на которых ведется работа ГНСС составляет 20-30 см, и

точность определения псевдодальностей по кодовым измерениям не может быть меньше длины волны, а также определяется характеристиками передачи псевдослучайного кода, и таким образом, как правило, превышает указанную длину волны. Разность фаз $\Delta\phi$ современными радиотехническими средствами измеряется с точностью до 0.01 периода радиоволны. Поэтому при фазовых измерениях псевдодальность может быть определена с точностью до 1 – 2 мм, правда при этом возникает проблема разрешения целочисленной неоднозначности, так как измерив разность фаз, мы не знаем точного количества длин волн. Для разрешения этой проблемы разработано несколько математических алгоритмов. Одной из основных сложностей практического применения PPP является сложность программной реализации данных алгоритмов.

Таким образом, использование соответствующей аппаратуры позволяет определять псевдодальности до спутников с точностью до нескольких мм. Однако для повышения точности определения координат нужно не только повысить точность определения псевдодальности, но и повысить точность определения координат спутников. Бортовые эфемериды дают точность определения положения спутника порядка 1 м, кроме того, важна информация о поправке часов спутников. Точность бортовых поправок часов спутников составляет около 2.5 нс, за такой период времени радиосигнал способен пройти расстояние в 75 см, поэтому возможности приемной аппаратуры, которая позволяет определять псевдодальности с точностью до мм, будут сведены на нет использованием бортовых эфемерид и поправок часов спутников.

Для получения координат навигационных спутников необходимо использовать высокоточные эфемериды, которые предоставляются специальными центрами обработки и Международной ГНСС службой. Точность итоговых эфемерид, доступных через две недели после даты измерений составляет около 1-2 см, а точность поправок часов 20 пс.

Для точного учета задержки в ионосфере можно использовать как двухчастотность наблюдений (аналогично учету подобного эффекта в РСДБ), так и дополнительную информацию о состоянии ионосферы, например ионосферные карты в IONEX формате. На основе определенной по ионосферной карте концентрации электронов в ионосфере можно вычислить задержку радиосигнала на интересующих нас частотах и соответствующим образом откорректировать псевдодальность. Тропосферную задержку можно определить из наблюдений (аналогично РСДБ) или же используя модель Саастамойнена и картирующие функции.

Таким образом, PPP можно охарактеризовать как метод абсолютных определений координат из ГНСС наблюдений, в котором используется точная ЭВИ, учет ошибок распространения сигнала осуществляется за счет использования точных физических моделей среды распространения сигнала или дополнительной информации об её состоянии, без привлечения ГНСС-наблюдений на эталонных пунктах.

Основным преимуществом PPP является возможность получения точных плановых и высотных координат (с точностью до см и даже меньше) при измерениях выполняемых одним приемником.

Вместе с тем, у данного метода есть и свои недостатки/ограничения, о которых необходимо знать.

Во первых, точная ЭВИ не доступна сразу. ЭВИ, предоставляемая IGS подразделяется на прогнозируемые Ultra-Rapid, Ultra-Rapid выведенные из анализа наблюдений, Rapid и Final. Только прогнозируемые Ultra-Rapid можно использовать в режиме реального времени, их точность составляет 5 см для положения спутника на орбите и 1.5 нс для поправок часов спутника при временном разрешении 1 значение в 15 минут. Ultra-Rapid выведенные из наблюдений имеют точность в 3 см для орбит и 50 ps для поправок часов спутников при временном разрешении 1 значение в 15 минут, и доступны через 3 - 9 часов после момент окончания наблюдений. Rapid доступна через 17 - 41 час после наблюдений и имеет точность для орбиты в 2.5 см с временным разрешением 15 минут и 25 пс для поправок часов с временным разрешением в 5 минут. Максимальное значение точности достигается в Final, где точность орбиты 2.5 см с временным разрешением 15 минут и 20 пс для поправок часов спутников с временным разрешением в 30 секунд, но данные эфемериды и поправки часов становятся доступны примерно через две недели после даты наблюдений. Максимальная точность определения координат методом PPP может быть получена только с использованием Final эфемерид и поправок часов.

Для получения точных координат пункта необходимо достаточно длительное измерение, не менее 30 минут.

Необходимо использовать дорогостоящее оборудование, поддерживающее двухчастотные и фазовые измерения.

Точные файлы эфемерид (в формате sp3) и поправок часов (в формате clk) можно взять с ftp сервера Международной ГНСС службы (IGS):
<ftp://ftp.igs.org/pub/product/>

Использование онлайн-сервисов PPP

Одним из доступных для простого пользователя, не имеющего доступа к специализированному ПО, способов получения координат методом PPP является использование онлайн-сервисов. Для этого, кроме наблюдений в RINEX формате, нужно иметь достаточно высокоскоростной (чтобы загрузка наблюдений на сервис выполнялась в разумное время) доступ в Интернет. Данный способ имеет свои недостатки. Первый, самый главный, с точки зрения учебного процесса, заключается в том, что мы прибегаем к помощи некоторого "черного ящика", которому мы отдаем наши наблюдения, задаем самый минимальный набор настроек, и от которого на нашу электронную почту мы получаем ответ в виде формального отчета. Значительная часть настроек жестко закреплена, мы не имеем к ним доступа, возможно о некоторых мы и не знаем. Как правило, существующие сервисы не дают возможности обработки длинных рядов наблюдений из многих десятков, а то и сотен RINEX файлов, что в научной деятельности является повсеместным. Мы отдаем наши наблюдения другому, тому, кто может их обработать. Научить отдавать наблюдения "доброму дяде", который будет их обрабатывать, не может являться итоговой целью учебного процесса. Вместе с тем, у любого наблюдателя, который обрабатывал большие объёмы ГНСС-измерений, рано или поздно возникнет случай, когда он будет задаваться вопросом, "а правильно ли я обработал?", "как, у кого я могу проверит правильность, правдоподобность своих результатов?", "что это, моя глупость, или проблемы в наблюдениях?", когда становится важным получить результаты

обработки, выполненные независимо. В таких случаях использование онлайн-сервиса является разумным выбором. Поэтому автор считает нужным разобрать вкратце пользовательскую работу с одним из таких сервисов. По мнению автора и его коллег с кафедры астрономии СПбГУ, а также иных организаций, с которыми он имел возможность сотрудничать, наиболее удобным для пользователя является сервис Канадской геодезической службы Природных ресурсов Канады (Canadian Geodetic Survey of Natural Resources Canada), который расположен по следующему электронному адресу: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>. Для работы данный сервис требует регистрации, в качестве логина используется адрес электронной почты пользователя.

The screenshot shows the 'Precise Point Positioning' web application. The form contains the following fields and options:

- Email for results (required):** dm.trofimov@gmail.com
- Processing mode:** Static (selected), Kinematic (unselected). Below this, it states: "The epoch will be the same as the GPS data. A UTM zone will be calculated from the longitude."
- Vertical datum:** CGVD2013
- Contribute to passive control maintenance? (What is this?)**: ☐ Authorize the Canadian Geodetic Survey (CGS) to archive and publish CSRS-PPP submission and solution
- Official marker station name:** (empty field)
- More options:** (expanded section)
 - QTL File (Who should use this file?):** (empty field)
- RINEX observation file (required) (.zip, .gzip, .gz, .Z, .???)**: javd_20130808.13o
- Submit to PPP** button

Рис 1. Скриншот заглавной страницы сервиса.

Если мы рассмотрим скриншот страницы сервиса, через которую осуществляется загрузка, то мы увидим, что набор доступных нам параметров невелик. Это адрес электронной почты, на которую

должен быть прислан результат. Статический или кинематический режим обработки, то есть наша антенна была установлена неподвижно, или двигалась, например, на корабле, или беспилотном летательном аппарате. В какой системе координат должен быть получен результат, NAD83 (North American Datum of 1983, система координат используемая в Канаде) или ITRF? Возможность загрузки файла океанической нагрузки. После чего необходимо загрузить RINEX файл наблюдений. Сервис позволяет загружать сжатые и заархивированные (.zip и .gzip) файлы наблюдений.

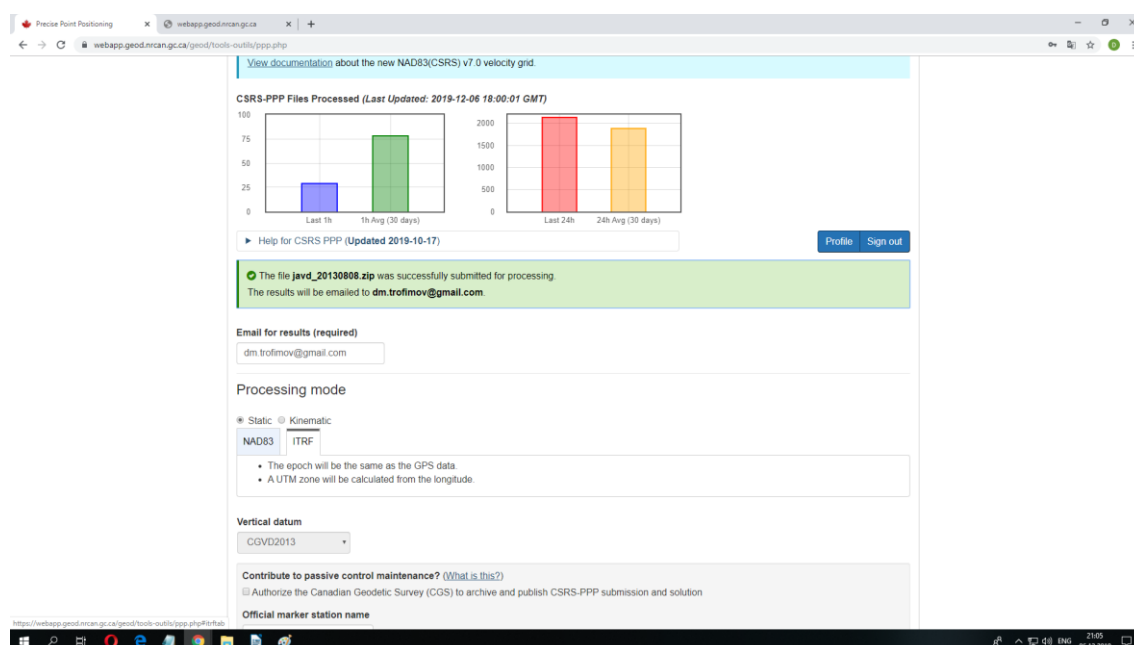


Рис 2. Скриншот страницы сервиса, сообщающей об удачной загрузке файла наблюдений.

После удачной загрузки, через некоторое время на почту должна прийти ссылка на архив, в котором содержится отчет об обработке присланных измерений. Сразу необходимо отметить, что время, через которое придет отчет, никак не регламентировано. По опыту автора и его коллег оно может составлять от 2-3 минут до почти 20 часов,

причем нельзя сделать однозначный вывод о том, когда это время будет большим, а когда маленьким. Несомненно, время зависит от загруженности сервера, и присутствует непонятный для нас алгоритм постановки задач в очередь и выделения на них вычислительных ресурсов. Это всегда нужно учитывать при обращении к данному сервису.

Присланной ссылкой на архив следует воспользоваться незамедлительно, так как через 48 часов результаты вашей обработки будут удалены с сервера.

В качестве рабочего примера мы загрузили на сервер RINEX с геодинамической станции СПбГУ, от 8 августа 2013 года.

Результаты содержатся в архиве full_output.zip, и состоят из шести файлов. Один из них (errors.txt) содержит информацию об ошибках, иногда он является единственным, если сервис не смог обработать наблюдения. Если же сервис наблюдения обработать смог, то там содержится информация о проблемах, например, об отсутствующей калибровке антенны и т.д. В нашем случае файл errors.txt содержит сообщение «No antenna type RINEX header record was found. Phase Centre Offsets and Variation could not be applied. Estimated height should be used with caution.», что означает «В заголовке RINEX нет указания на тип антенны. Смещения и изменение фазового центра не могут быть применены. Расчетную высоту следует использовать с осторожностью.». Файл output_descriptions.txt содержит в себе описание остальных файлов и расшифровки всех обозначений и аббревиатур, в них встречающихся. Четыре других файла

содержащихся в архиве имеют имя загруженного RINEX-файла и соответственно расширения csv, pdf, pos и sum.

В файле с расширением sum содержится сводная информация о параметрах обработки.

В файле с расширением pos содержатся оценки координат пункта для каждой эпохи наблюдений. В нашем конкретном примере было получено 16780 оценок координат станции. Примерно 500 эпох были пропущены по различным причинам.

В файле с расширением csv содержатся информация о местоположении и поправках часов приемника для каждой эпохи наблюдений. Информация в файлах pos и csv во многом дублирует друг друга, отличается только форматом представления.

Для пользователя, как правило достаточно информации представленной в pdf файле. Файл отчета для статического режима PPP состоит из 6 страниц. Основная информация содержится на первой странице. Это время начала и конца наблюдений, тип используемых наблюдений, и, конечно, полученные значения координат с их ошибками.

В нашем случае были получены значения широты $59^{\circ} 56' 32.14186''$ с ошибкой ± 1 см и $30^{\circ} 17' 43.60885''$ с ошибкой ± 1.7 см и высоты над эллипсоидом 28.809 м ± 3.0 см. Полностью файл отчета приведен в приложении 1.

Программный пакет RTKLib

Другим способом получения координат методом PPP является использование специализированного программного пакета, который поддерживает данную функцию. Пакетов, которые поддерживают данную функцию на самом деле достаточно много, Bernese Бернского университета распространяется платно, Gipsy Oasis для академических организация распространялся бесплатно, однако последняя версия так же стала платной. Автор не имел возможности поработать с пакетом Bernese, однако коллегами из ГАО РАН была предоставлена возможность поработать с пакетом Gipsy Oasis. Опыт автора показывает, что Gipsy Oasis является чрезвычайно мощным средством для обработки ГНСС, прежде всего GPS измерений методом PPP, данный пакет оптимизирован под обработку длинных типизированных рядов ГНСС измерений геодинамических станций, однако он является весьма сложным в освоении для новичка. Полноценное освоение данного пакета до уровня уверенного пользователя требует большого времени и наличия рядом наставника, способного дать ответ на постоянно возникающие вопросы. Пакет не имеет графического интерфейса, необходимо самостоятельное написание скрипта, который и будет выполнять обработку. Начинать знакомство с методом PPP с помощью Gipsy Oasis на взгляд автора является неверным. Поэтому имеет смысл обратиться к пакету RTKlib.

RTKLIB - это программный пакет с открытым исходным кодом для стандартного и точного позиционирования на основе ГНСС наблюдений. RTKLIB состоит из переносимой библиотеки программ

и нескольких прикладных программ, использующих библиотеку. Особенности RTKLIB:

Способен работ с наблюдениями GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, QZSS и SBAS

Реализована поддержка нескольких алгоритмов определения координат, как в режиме постобработки, так и в режиме реального времени, таких как одиночный, дифференциальный в различных вариантах (кинематика, статика, метод подвижной базы, фиксированный), PPP в различных вариантах (кинематический статический, фиксированный).

Поддерживает большинство стандартных форматов и протоколов для предоставления ГНСС-наблюдений, эфемеридно-временной информации, информации о состоянии атмосферы, ионосферы, калибровке антенн и т.д.

Библиотеки данного программного пакета реализуют множество функций, таких как преобразование координат, модели атмосферы, модели антенн, модели земных приливов, модели геоидов, разрешения целочисленной неоднозначности и т.д

Сам пакет состоит из прикладных программ, которые реализуют соответствующие возможности, такие как определение координат в реальном времени, определение координат в режиме постобработки, преобразования ГНСС-наблюдений из одного формата в другой, визуализация наблюдательных данных и решения (построение траектории и т.п.)

По мнению автора, данный программный пакет, пусть и не является самым мощным и надежным средством определения координат, очень полезен в учебных целях, и вполне пригоден и в научных. Автор с коллегами представлял на конференции доклад, в котором скорость движения ледникового покрова в Антарктиде определялась по ГНСС-измерениям, обработанным в пакете RTKlib, неоднократно иные участники конференций выступали с докладами, где ГНСС измерения обрабатывались в пакете RTKlib. Если же рассматривать его с точки зрения учебного процесса, то он обладает очень весомыми преимуществами перед другими пакетами, так он распространяется свободно, любой студент, имеющий доступ к Интернету, может его спокойно скачать и использовать. Интерфейс интуитивно понятен, существует хорошее руководство пользователя, пусть и написанное по-английски.

Сам пакет можно скачать по адресу <http://www.rtklib.com/> ,
руководство пользователя находится по адресу
http://www.rtklib.com/rtklib_document.htm.

/

Получение точных координат помощью RTKLib

Высокоточная постобработка ГНСС-наблюдений в пакете RTKLib выполняется с помощью программы rtkpost.exe.

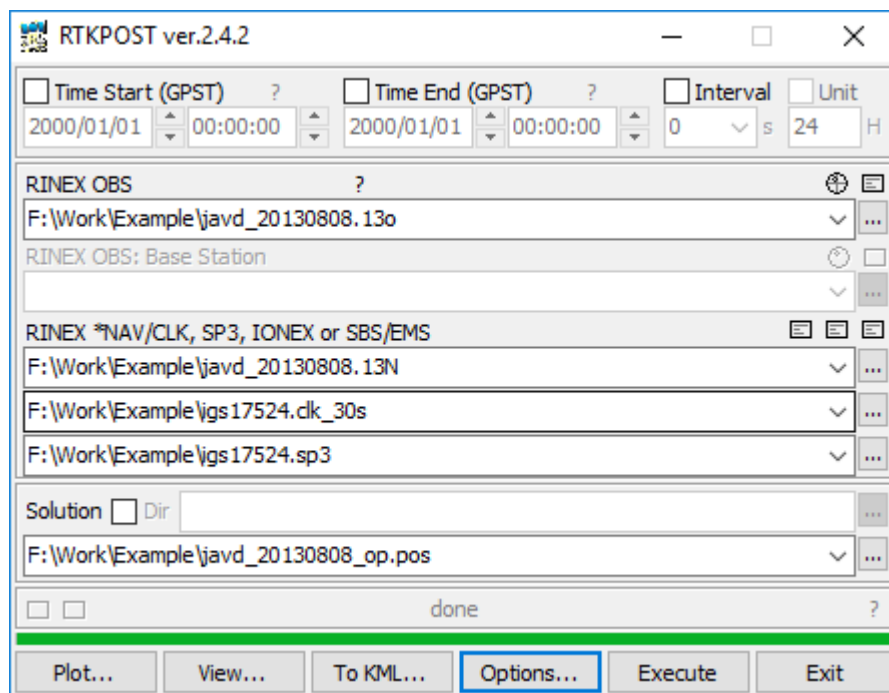


Рис 3. Окно программы rtkpost

Данная программа поддерживает различные режимы обработки, такие как единичное решение, что по сути описано в нашем пособии, различные варианты дифференциального режима, с подвижным или неподвижным ровером, или с подвижной базой, и PPP, как в статическом режиме, так и в кинематическом. Для наших целей важен прежде всего статический PPP режим, так как практические работы, выполняемые обучающимися на кафедре астрономии, требуют обработки наблюдений с ГНСС-станций или пунктов, жестко закрепленных на поверхности Земли.

Выбор данных, используемых для обработки, выполняется в заглавном окне программы. В поле RINEX OBS необходимо указать RINEX файл с наблюдениями, которые необходимо обработать. В поле RINEX OBS: Base Station указывается RINEX с базовой станции, это делается только в том случае, если в Options выбирается один из дифференциальных режимов. Если выбран режим PPP, то данное поле выключается и в нем нельзя ничего указать. В последующих трех полях указываются дополнительные данные, которые требуются для обработки, в нашем случае это файлы с эфемеридно-временной информацией, в первом поле из трёх файл бортовых эфемерид, во втором поле файл с поправками бортовых часов НКА, в третьем поле файл с высокоточными эфемеридами в формате SP3, на интересующую нас дату наблюдений. В самом нижнем поле указывается файл с результатами обработки. По умолчанию он поименован как и RINEX файл, но имеет расширение pos. Имя файла можно менять, что имеет смысл делать, если несколько раз обрабатывается один и тот же RINEX файл, но с разными настройками, так как в ходе каждой обработки результаты предыдущей обработки будут стерты.

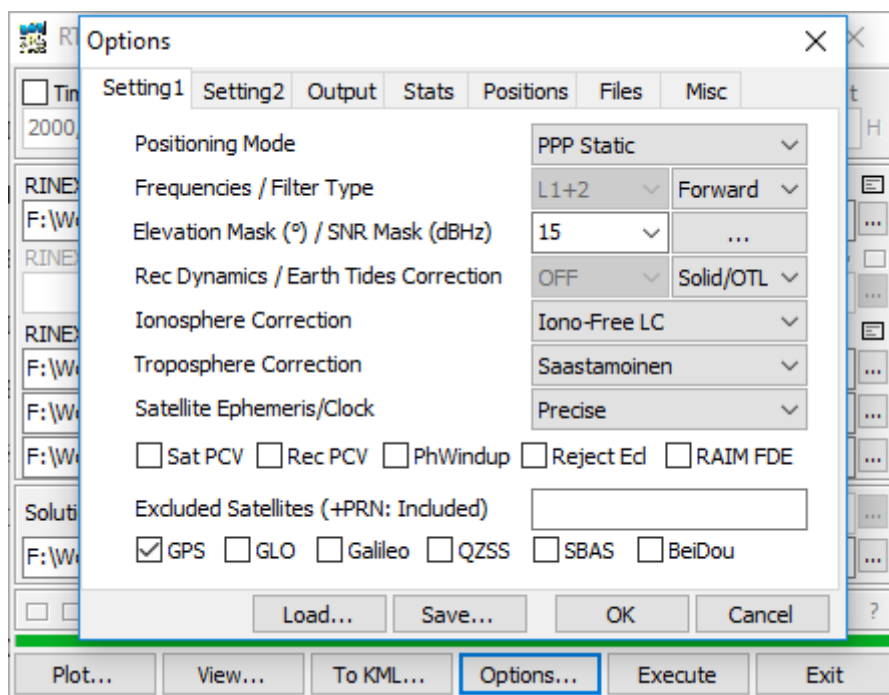


Рис 4. Окно с настройками обработки

Настройка обработки выполняется с помощью кнопки Options. Количество настроек, которые позволяет задать rtkpost очень велико, отметим только наиболее важные. В случае возникновения повышенного интереса к RTKlib рекомендуется изучить подробное руководство пользователя. На рисунке 4 представлено первое окно настроек, Setting1, которое появляется при нажатии Options. В нём можно задать тип обработки, в примере выбран PPP Static, можно выбрать PPP Kinematic или различные варианты дифференциального режима, но для выполняемых на кафедре астрономии лабораторных работ эти режимы обработки не требуются.

Можно выбрать маску возвышения, то есть отсечь от обработки все спутники, которые были ниже какой-либо высоты над горизонтом. Это делается для уменьшения влияния переотражений, по умолчанию

задается 15° , мы сохраняем это значение, так ГНСС станция СПбГУ и наблюдательная площадка Службы Времени, на которой проводятся наблюдательные работы, окружены зданиями и деревьями. Стандартным значением маски возвышения считается 5° .

Можно задать процедуру коррекции приливов, можно их не корректировать, можно использовать только твердотельный прилив или же как твердотельный прилив, так и океаническую нагрузку.

В следующем поле выбирается тип коррекции ионосферной задержки, можно выбрать несколько вариантов, в примере выбрана коррекция за счет линейной комбинации наблюдений на двух частотах. Возможно так же использование ионосферных карт или бортовой информации спутников.

В следующем поле задается вариант учета тропосферной задержки. В примере выбрана коррекция по формуле Саастамойнена, но можно выбирать как отсутствие этой коррекции, так и другие варианты, например, оценка данной задержки из наблюдений, аналогично подобной ситуации в РСДБ.

После тропосферной задержки нужно указать тип используемых эфемерид, в примере указано использование точных эфемерид.

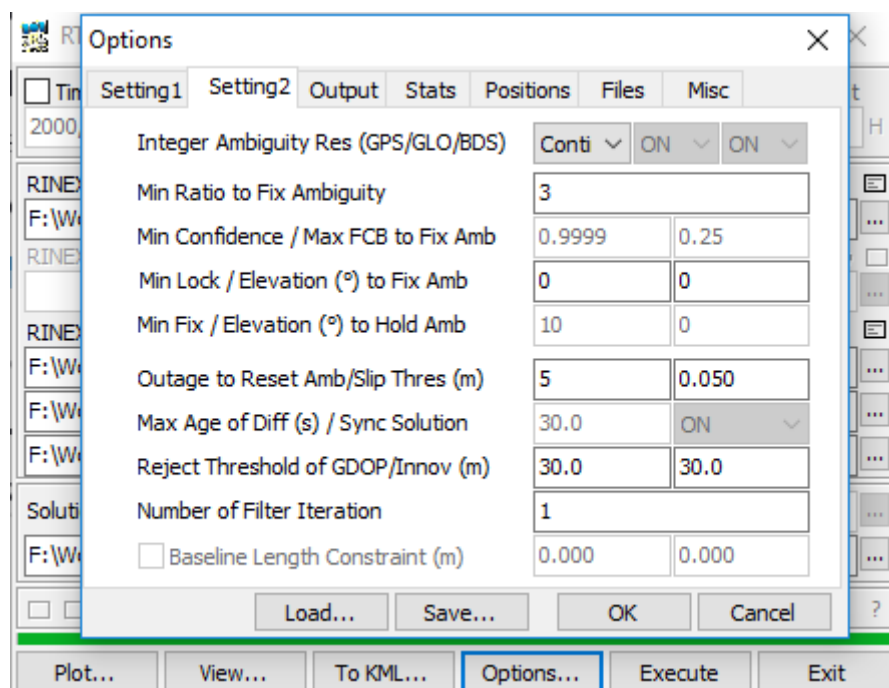


Рис. 5 Окно с дополнительными настройками обработки

На следующем рисунке 5 представлено окно настроек Setting2. В нём задаются настройки для разрешения целочисленной неоднозначности при обработке фазовых измерений, начинающему пользователю менять эти настройки не рекомендуется.

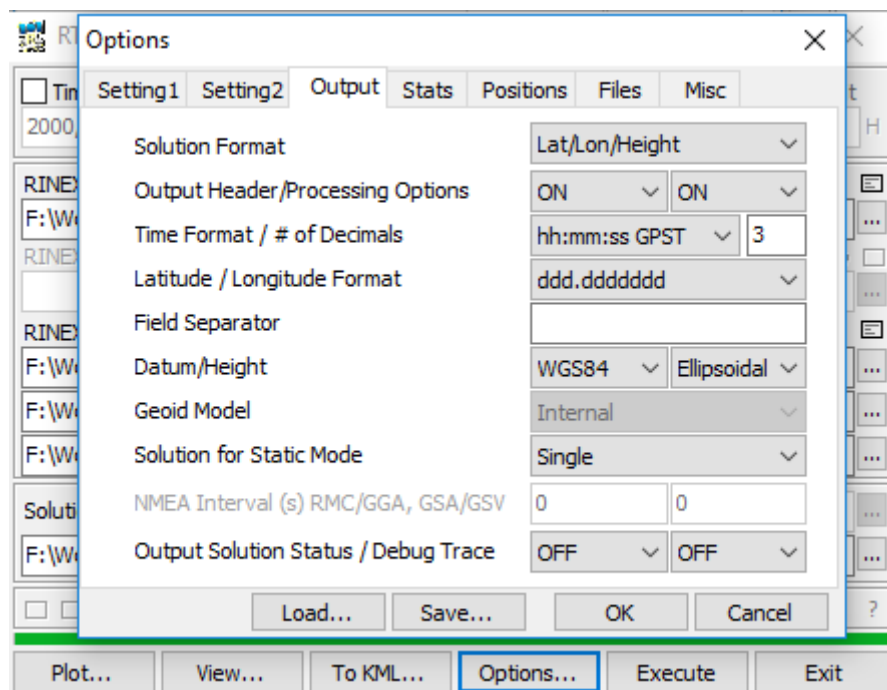


Рис 6. Окно с настройками вывода

На следующем рисунке 6 представлено окно настроек параметров вывода ответа. Мы можем указать, выводим ли мы ответ в виде географических координат или декартовых, в градусах минутах секундах или десятичных градусах, а также используемый нами датум (набор параметров земного эллипсоида) и тип высот. Выводим мы один результат для статического режима или решения для всех имеющихся эпох.

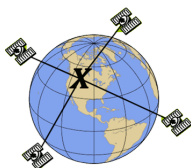
На взгляд автора приведенных настроек достаточно для начала уверенной работы по получению высокоточных координат методом PPP. Так же необходимо отметить, что имеющиеся настройки можно записать в отдельный конфигурационный файл, и в дальнейшем не выставлять их вручную, а загружать из файла.

Обработаем в rtkpost те же самые наблюдения, что мы посылали для обработки в онлайн сервис. Нами были получены следующие

значения: широта $59^{\circ} 56' 32.14112''$; долгота $30^{\circ} 17' 43.60893''$;
эллипсоидальная высота 28.9095

Сравнение этих результатов с результатами обработки онлайн сервиса показывает расхождение по широте в $0.00074''$, по долготе в $0.00008''$ и по высоте в 10 см. Большое расхождение по высоте объясняется тем, что мы не указали параметры антенны, вместе с тем в плане отличие по широте соответствует 2 см, а по широте менее 2 мм. На наш взгляд такое близкое сходство говорит в пользу достоверности результатов нашей обработки.

**Приложение 1. Отчетный pdf-файл онлайн сервиса Канадской
геодезической службы**



CSRS-PPP 2.26.1 (2019-05-31)



javd_20130808.13o
javd_20130808

Data Start	Data End	Duration of Observations
2013-08-08 00:00:00.00	2013-08-08 23:59:55.00	23:59:55
Processing Time	Product Type	
18:06:35 UTC 2019/12/06	IGS Final	
Observations	Frequency	Mode
Phase and Code	Double	Static
Elevation Cut-Off	Rejected Epochs	Estimation Steps
7.5 degrees	2.58 %	5.00 sec
Antenna Model	APC to ARP	ARP to Marker
Unknown	Unknown	H:0.000m / E:0.000m / N:0.000m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

Estimated Position for javd_20130808.13o

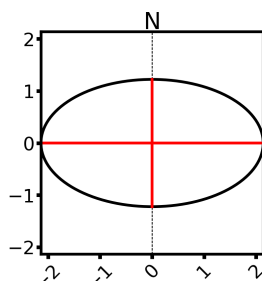
	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
ITRF08 (2013.6)	59° 56' 32.14186"	30° 17' 43.60885"	28.809 m
Sigmas(95%)	0.010 m	0.017 m	0.030 m
A priori*	59° 56' 32.10007"	30° 17' 43.54346"	28.940 m
Estimated – A priori	1.293 m	1.015 m	-0.131 m

95% Error Ellipse (cm)

semi-major: 2.1 cm

semi-minor: 1.2 cm

semi-major azimuth: 89° 59' 59.69"



UTM (North) Zone 36

6648068.289 m (N)

348911.468 m (E)

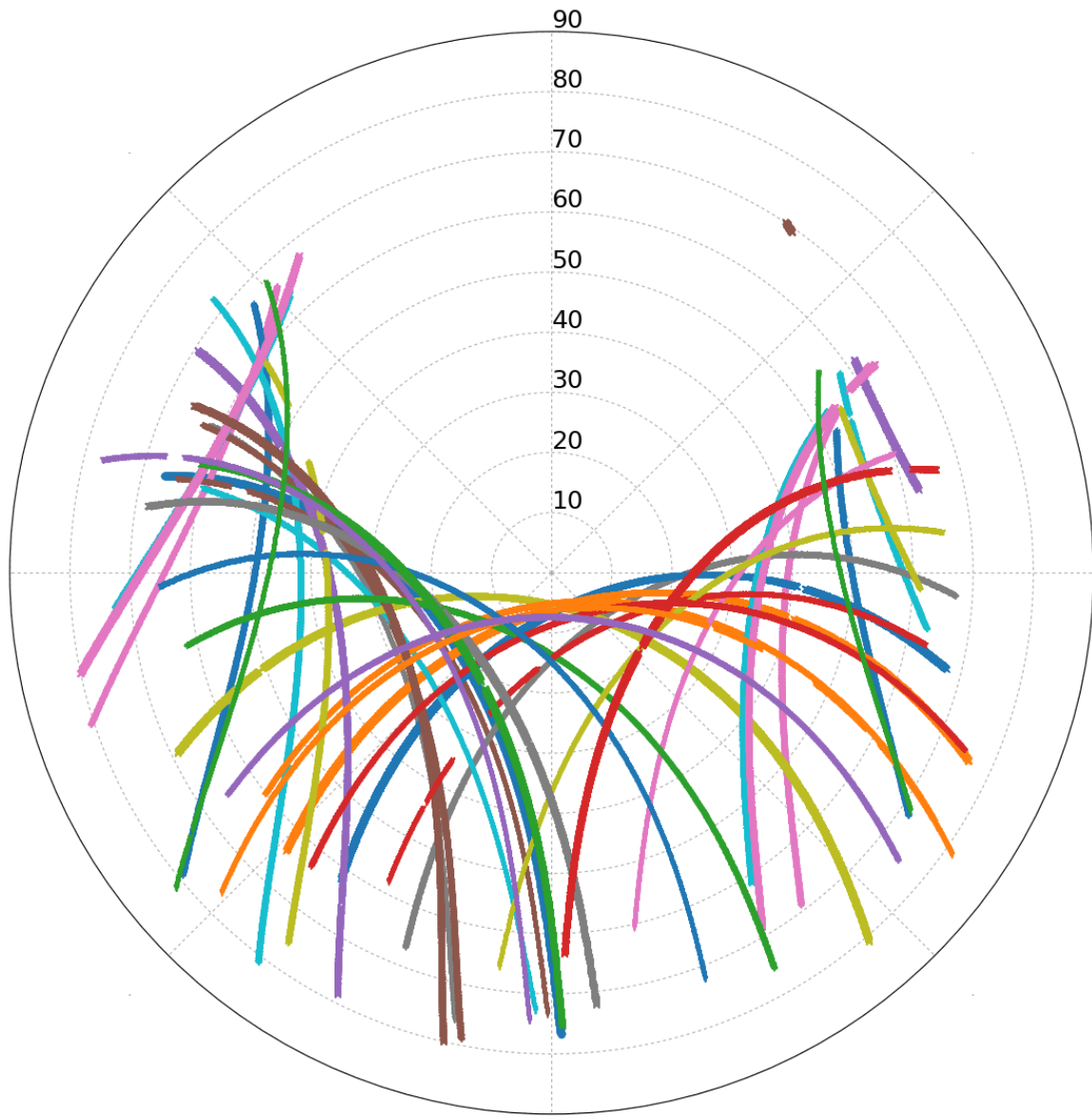
Scale Factors

0.999880 (point)

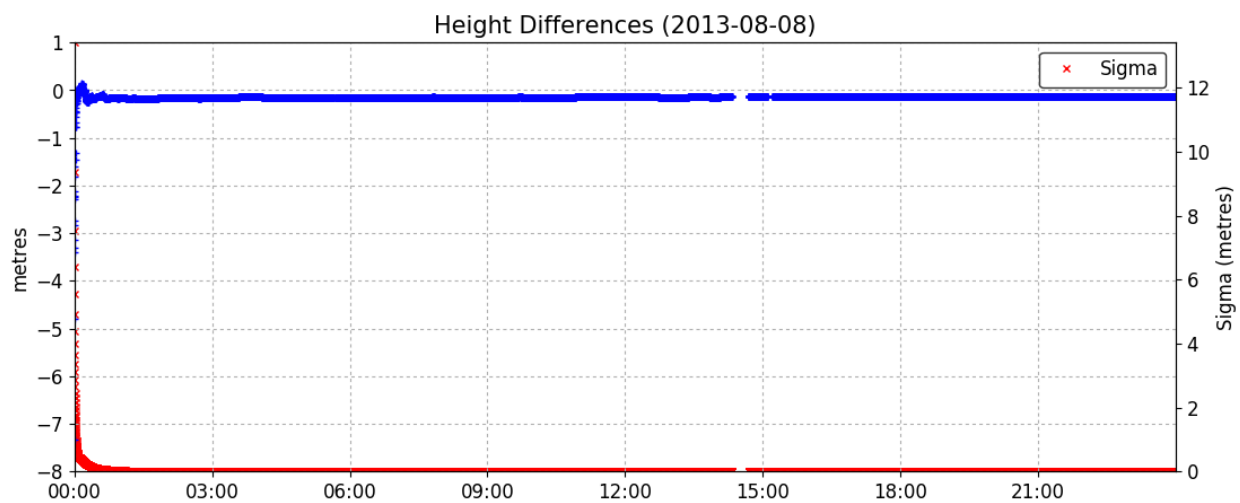
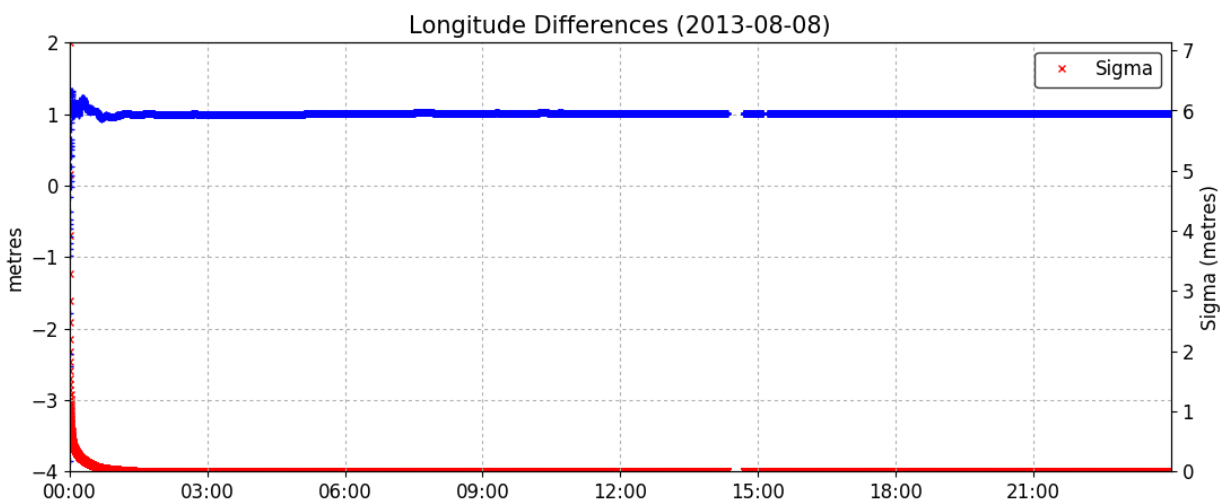
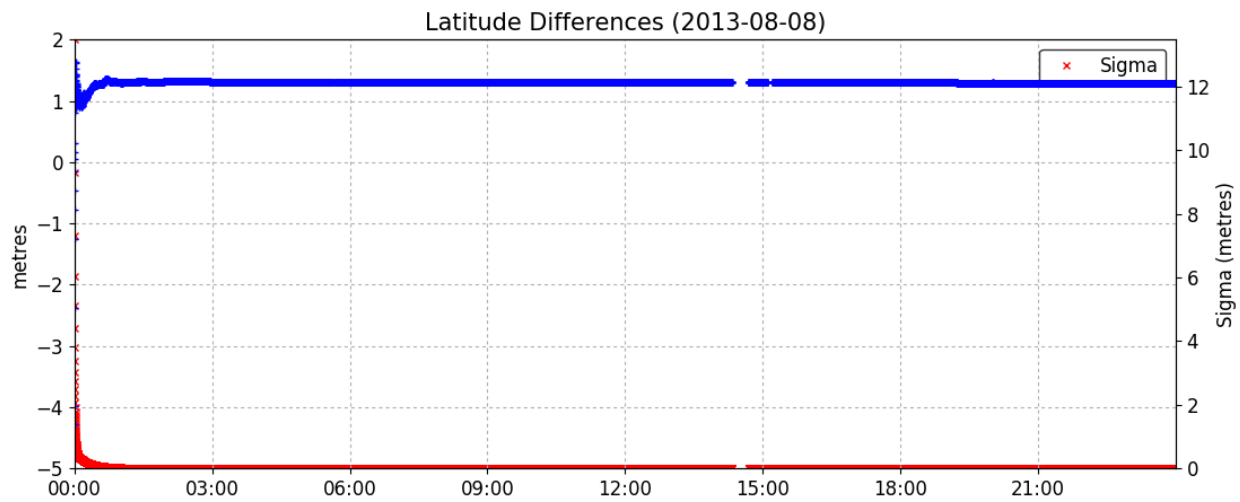
0.999875 (combined)

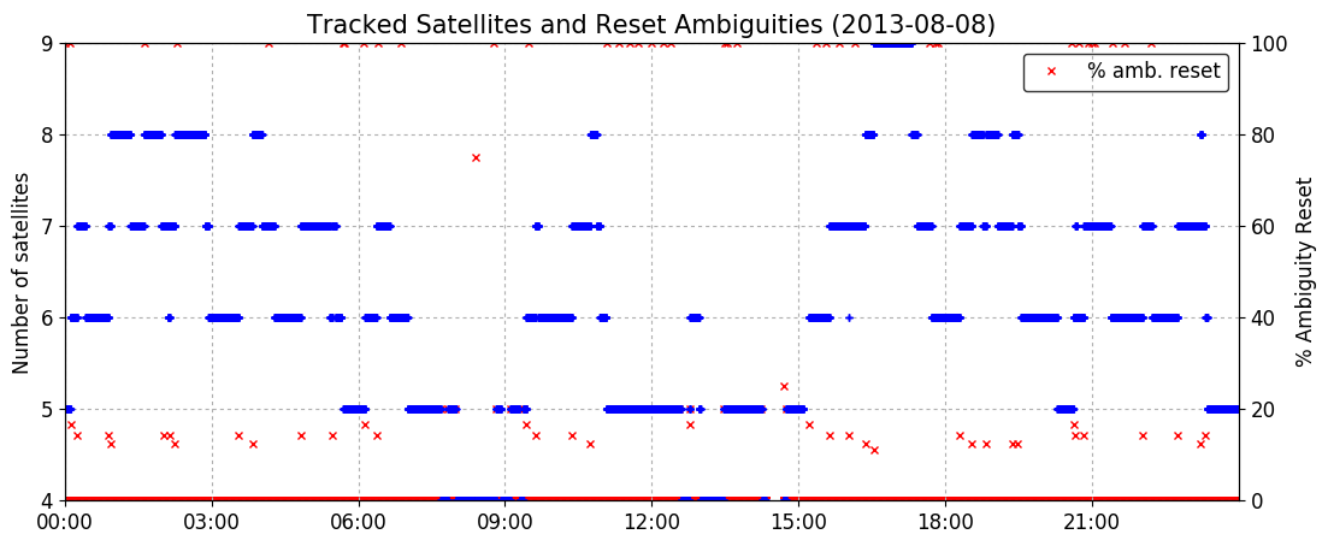
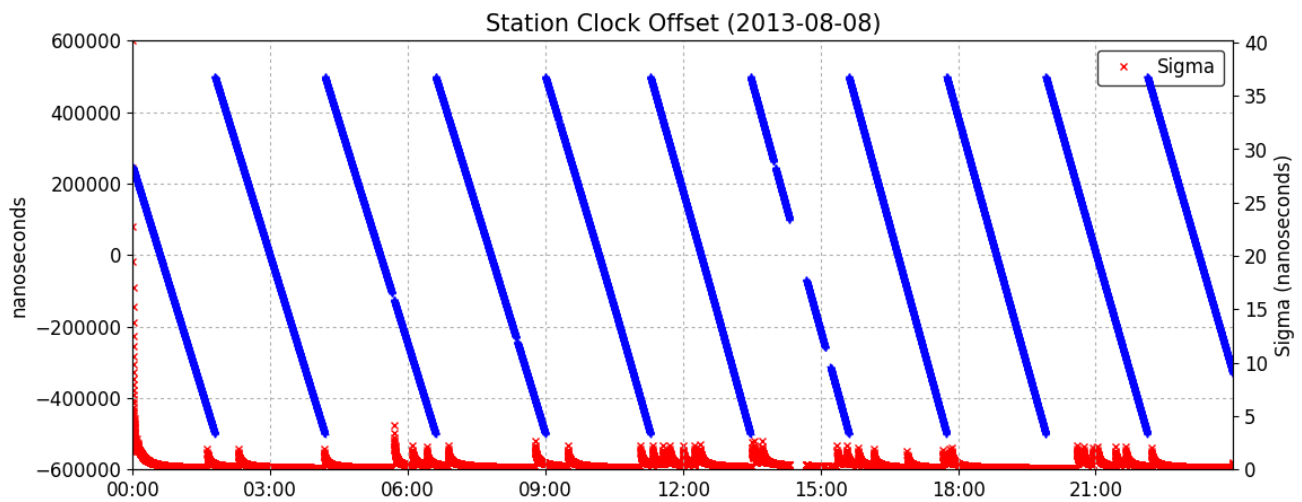
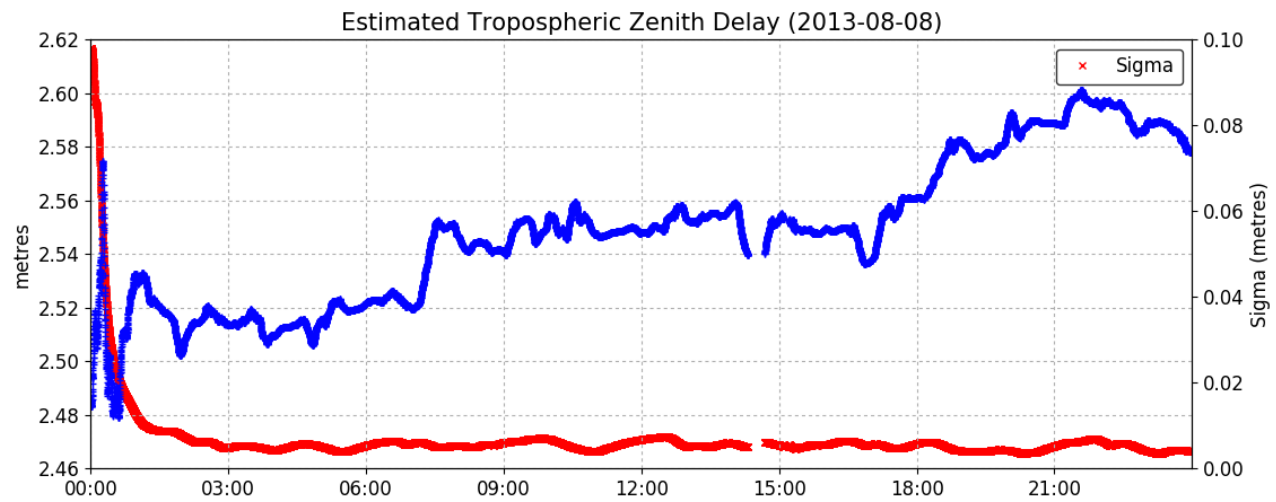
*(Coordinates from RINEX header used as a priori position)

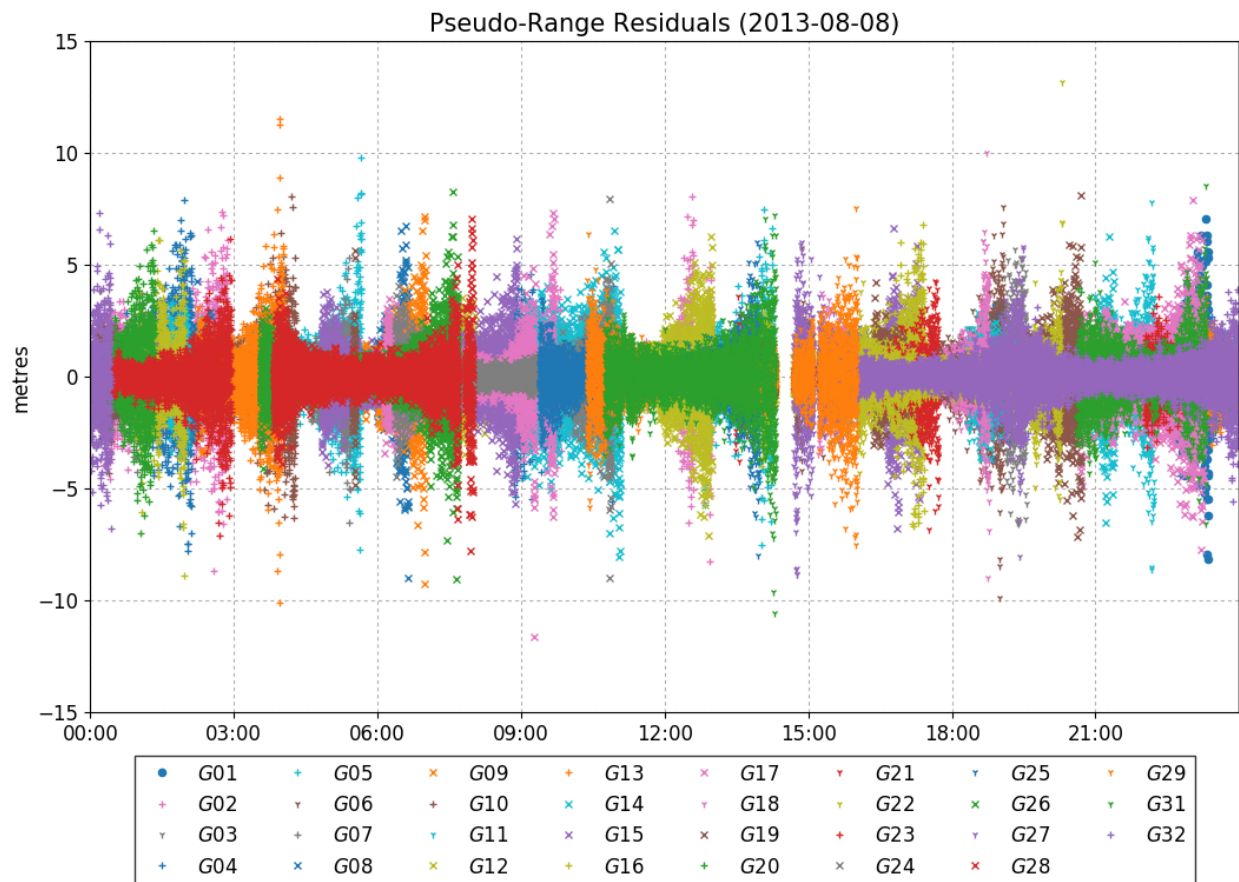
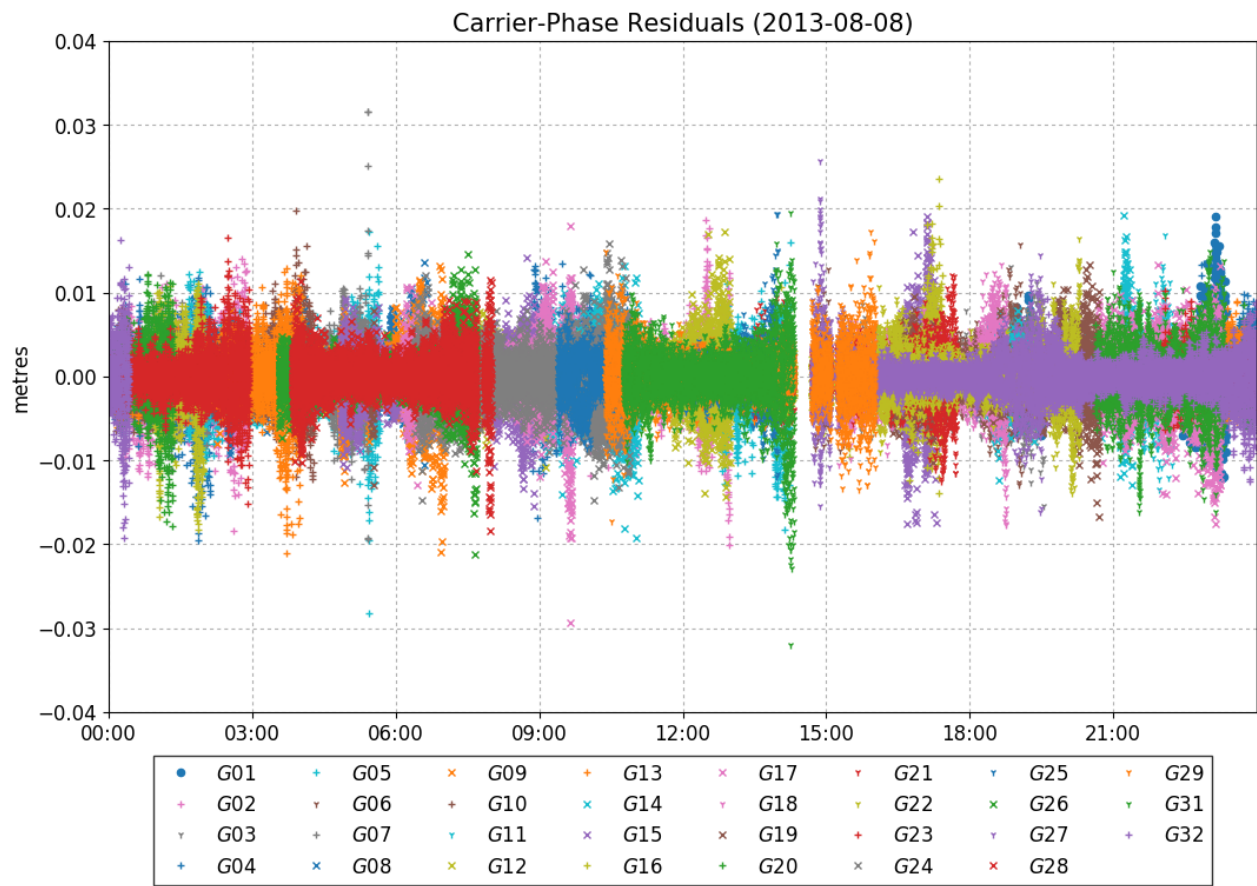
Satellite Sky Distribution



• G01	+ G07	× G12	× G17	▼ G22	▼ G27
+ G02	× G08	+ G13	▼ G18	+ G23	× G28
▼ G03	× G09	× G14	× G19	× G24	▼ G29
+ G04	+ G10	× G15	+ G20	▼ G25	▼ G31
+ G05	▼ G11	+ G16	▼ G21	× G26	+ G32
▼ G06					







~~~ Disclaimer ~~~

Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its CSRS-PPP online positioning service.

If you have any questions, please feel free to contact:

**Geodetic Integrated Services
Canadian Geodetic Survey
Surveyor General Branch
Natural Resources Canada
Government of Canada
588 Booth Street, Room 334
Ottawa, Ontario K1A 0Y7
Phone: 343-292-6617**

Email: nrcan.geodeticinformation-informationgeodesique.rncan@canada.ca



**Natural Resources
Canada**

**Ressources naturelles
Canada**

Canada